

ガラスビーズを用いた低速度クレーター形成実験： 学生実験のデータ統計解析

保井みなみ，荒川政彦（神戸大学大学院理学研究科）

はじめに：神戸大学理学部惑星学科では，2014 年から毎年，3 年前期の実習授業で「ガラスビーズを用いたクレーター形成実験」を行っている．今回は，全 6 年間の実習のデータを再解析し，そのばらつき度合いや先行研究との比較を行った．

実験方法：粒径 $100\mu\text{m}$ のガラスビーズを用いたクレーター形成実験を行った．実験者は物理実験の経験がほぼ無い学部 3 回生計 130 名である．毎回 2～4 名で組になり，実験を行った．弾丸加速方法は 2 種類用いた．1 つは自由落下でナイロン，ガラス，アルミナ，ジルコニア，ステンレス，鉛球（直径 3mm，ガラスのみ 3, 5, 7, 8mm）を用いた．衝突速度は 3.3m/s である．もう 1 つは縦型一段式軽ガス銃を用いた．弾丸は直径及び高さ 10mm のポリカーボネート円柱と，直径 3mm のナイロン，ガラス，アルミナ，ジルコニア，ステンレス，鉛球を用いた．衝突速度は $26\sim 226\text{m/s}$ である．デジタルノギスを用いたクレーターリム直径の計測と，高速カメラを用いたエジェクタカーテン角度の画像計測を行った．

実験結果：実験数は自由落下が 322 ショット，一段銃が 126 ショットであった．この結果を統計的に解析するため，ばらつきが正規分布で説明できると仮定し，累積個数分布を用いて平均 λ 及び標準偏差 σ と正規分布からのずれの傾向を調べた．累積個数分布は以下の式で記載される．

$$F_X(x) = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \operatorname{erf} \left(\frac{x - \lambda}{\sqrt{2}\sigma} \right) \right\}, \quad \operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \quad (-\infty < x < \infty)$$

① 自由落下

弾丸がガラス球で，弾丸直径を変化させた場合の累積個数分布を図 1 に示す．弾丸直径が大きくなるほど平均クレーターリム半径は 6.6mm から 15.9mm と大きくなるが，標準偏差も 0.6 から 1.5 と大きくなることがわかった．これは弾丸密度が大きくなっても同様の傾向にあることがわかった．この理由は，弾丸が大きくなる程，密度が大きくなる程，①クレーターリムが崩壊してはっきりしなくなるため，リムの同定が人によって異なるため，

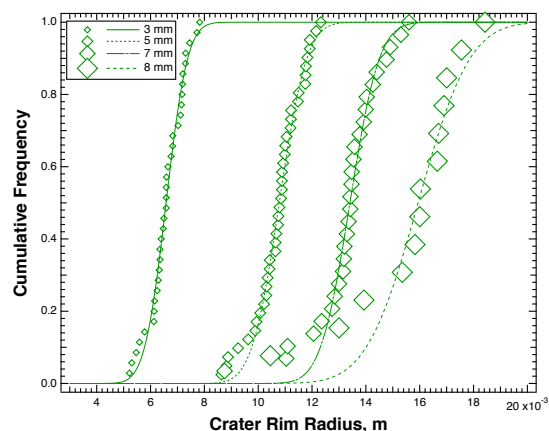


図 1：直径の異なるガラス球弾丸を用いた場合の累積個数分布．自由落下の結果．

②クレーターリム半径を小さく見積もる傾向にある（正規分布から外れている）ことから、標的表面の硬さが異なることで弾丸の潜り込み深さが変わるため、と考えられる。表面硬さの違いは、弾丸が潜り込んだ際にクレーターの底に確認される jet の跡が観察された場合と観察されない場合があったことから、明らかである。

② 縦型一段式軽ガス銃

図 2 は、クレータースケール則[1]を用いて解析した縦型一段式軽ガス銃の結果と、Yasui et al. (in prep.)の結果を示している。クレータースケール則は $\pi_R = K_1 \pi_2^{-c} \pi_4^b$ で示される。Yasui et al. (in prep.)は実験条件が全く同じだが、実験は 1 人で行っている。データを見ると、実習と Yasui et al. はほぼ一致するが、実習のデータは規格化クレーター半径 π_R が小さいデータが多くなった。このばらつきを比較するため、同じ π_2 でのスケール則の値と実測値との差に対して累積個数分布を調べた結果、標準偏差が実習は 0.027 となり、Yasui et al. の 0.014 の約 2 倍となった。こ

の理由を考察するため、実習データを比較的湿度の低い 4, 5 月と、梅雨時期の 6, 7 月に分けて解析したが、季節による標準偏差の違いは見られなかった。一方、4, 5 月の累積個数分布は正規分布からのずれが大きいことがわかった。特に、授業の初回及び 2 回目のデータが多いことから、実習の不慣れさがデータのばらつきに影響している可能性がある。

図 3 はエジェクタカーテン角度と弾丸の密度の関係を示している。実習は左右のエジェクタカーテンを解析している。累積個数分布を調べた結果、弾丸ごとに左右の平均値や標準偏差に大きな違いは見られなかった。この累積個数分布で求めた平均値及び標準偏差と弾丸密度の関係を図 3 に示す。ガラスビーズのエジェクタカーテン角度は、弾丸密度が大きくなるほど線型的に増加した。また、全体的に石英砂[2]よりもガラスビーズのエジェクタカーテン角度が小さくなった。

[参考文献]

[1] Housen & Holsapple (2011), Icarus 211, 856–875.

[2] Tsujido et al. (2015), Icarus 262, 79–92.

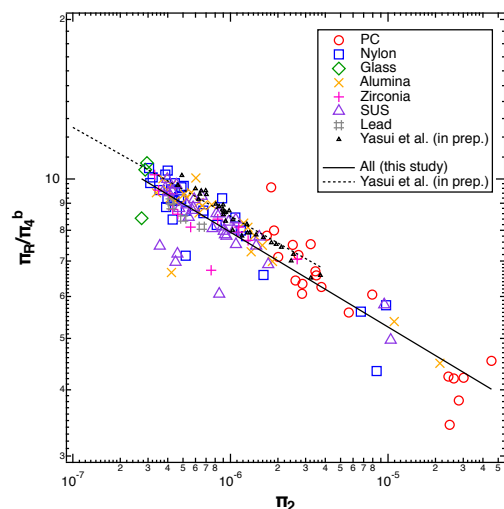


図 2：規格化クレーター半径 π_R/π_4^b と規格化重力 π_2 の関係。bは実習が 0.025, Yasui et al. が 0.011 である。

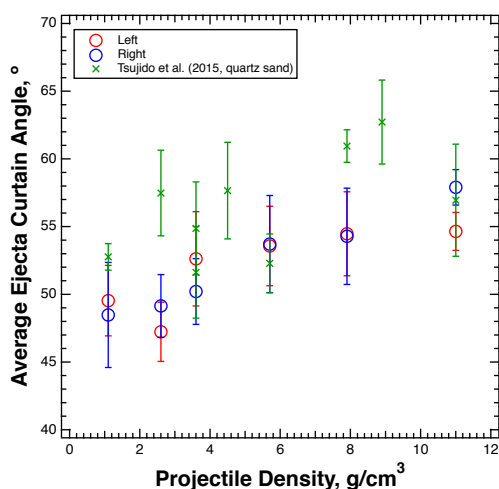


図 3：エジェクタカーテン角度と弾丸密度の関係。